Restitución genética de poblaciones

Modelos de dinámica poblacional estructurados en clases

Máster Universitario en Técnicas de Conservación de la Biodiversidad y Ecología
&
Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

Dr. Carlos Lara Romero

9 abril 2018

Dinámica poblacional

- ***Objetivo***: Estudiar y modelizar la evolución de las poblaciones a través del tiempo para adquirir poder predictivo y utilizarlo como herramienta de toma de decisiones.

Dinámica poblacional

- El éxito de una restitución depende esencialmente del mantenimiento de una población viable a lo largo del tiempo

Viabilidad de poblaciones

$$V_i = f\,(B_i, D_i, N_i)$$

B_i: nacimientos

D_i: muertes

Viabilidad de poblaciones

- Cambios en el tamaño poblacional

Nacimientos (B)

Muertes (D)

Immigración (I)

Emigración (E)

Cambios en el tamaño poblacional

- Causas:
  - Nacimientos (B)
  - Muertes (D)
  - Inmigración (I)
  - Emigración (E)

- $N(t+1) = N(t) + B - D + I - E$

Modelos de crecimiento poblacional

- Crecimiento exponencial
- Crecimiento geométrico
- Crecimiento logístico
- Crecimiento poblacional estructurado en edad/tamaño

Crecimiento exponencial

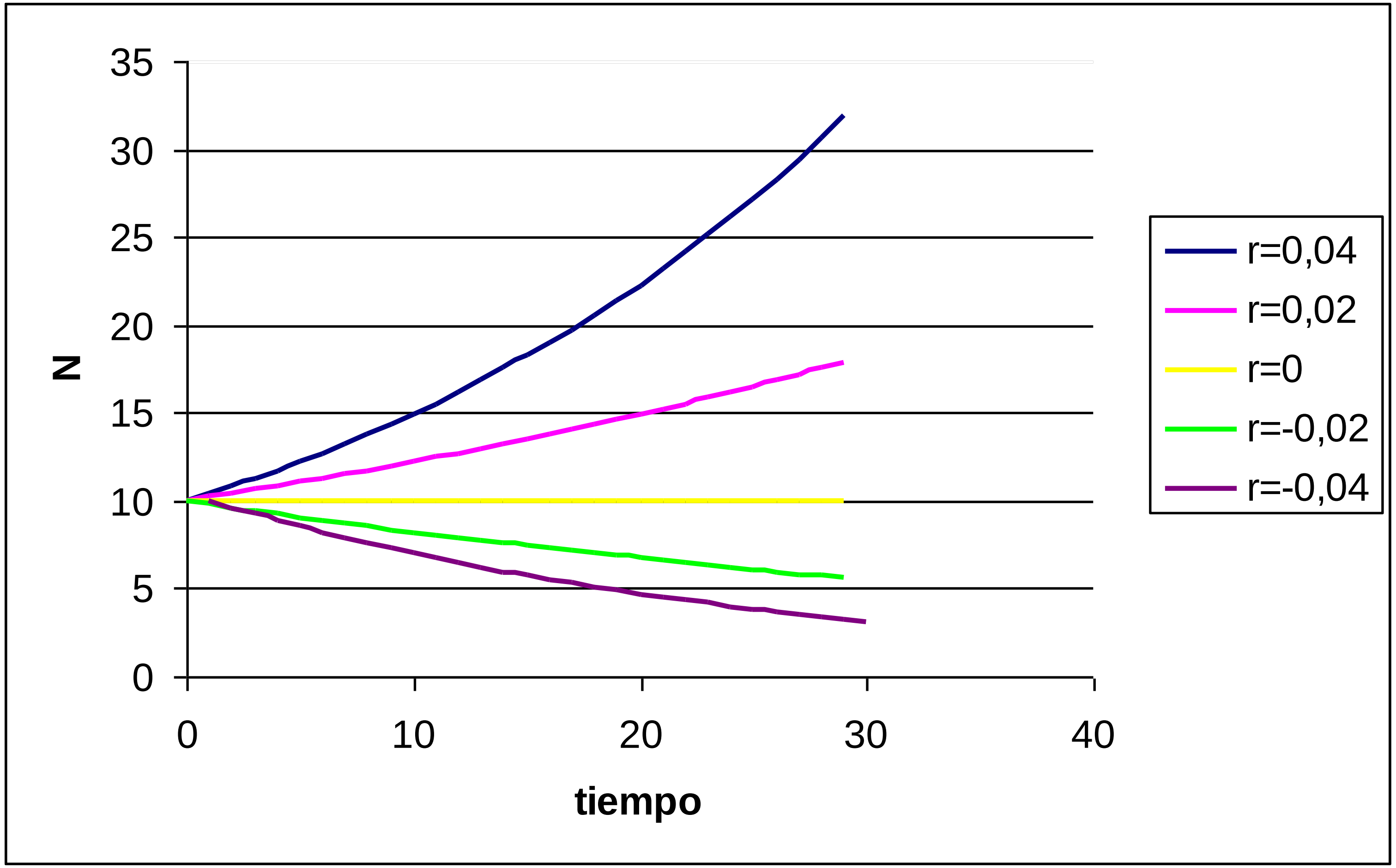
- $I = E = 0$
- $\Delta N = B - D$
- Crecimiento continuo
- $\delta N/\delta t = B – D$; $B = b\,N$; $D = d\,N$
- $\delta N/\delta t = (b - d)\,N = r\,N$
- $r = b - d$. tasa intrínseca de crecimiento (crecimiento de la población por individuo y unidad de tiempo)
- $N_t = N_0\,e^{rt}$

Crecimiento exponencial

El **valor de *r* determina si una poblacional crece** de manera exponencial ($r > 0$), permanece constante ($r = 0$) o declina hacía la extinción ($r < 0$).

- $r > 0$. La población crece de manera continua y exponencial. Este crecimiento es proporcional a N: cuanto mayor sea el tamaño de la población, mayor es el ritmo de crecimiento.
- $r = 0$. Tamaño población permanece constante ($N = 0$; $b - d = 0$).
- $r < 0$. La población declina hacía la extinción.

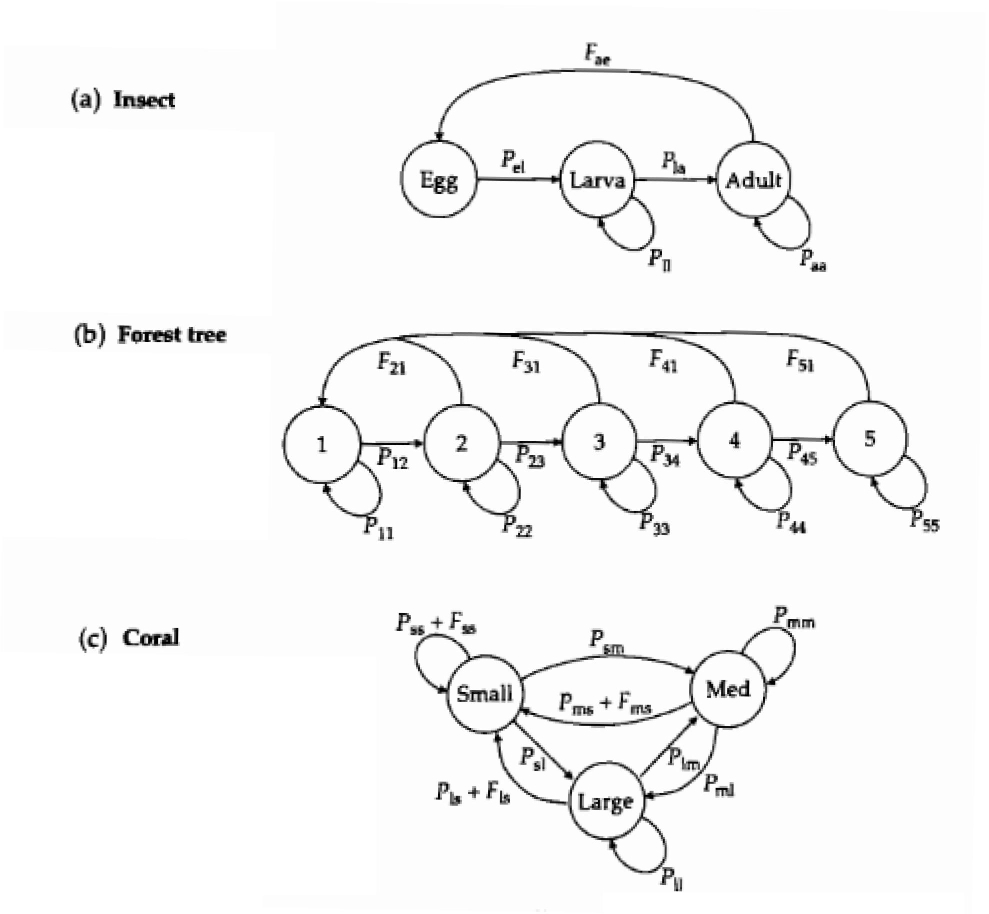
Crecimiento exponencial



Crecimiento exponencial

¿Cuáles son las asunciones del modelo exponencial?

Poblaciones estructuradas en clases



Modificado de Gotelli 2001. A primer of Ecology

Poblaciones estructuradas en clases

Supervivencia

Crecimiento

Éxito reproductivo

f (desarrollo)

Estructura en clases

Poblaciones estructuradas en clases

Número de individuos

- Censos totales
- Muestreos

Poblaciones estructuradas en clases

Repuesta reproductiva





Poblaciones estructuradas en clases

Repuesta reproductiva

Antirrhinum microphyllum:

Población	Flores/pl	Frutos/pl	Semillas/pl
Bolarque	51	46	9287
Entrepeñas	56	47	9391

Poblaciones estructuradas en clases

Supervivencia y desarrollo

- Vivo/muerto
- Evolución del tamaño de la planta a lo largo del tiempo

- Población completa
- Parcela de muestreo
  - Una o varias parcelas de muestreo
  - Tamaño de la parcela

Aplicación modelos dinámica poblacional estructurados en clases

- Estimar r en poblaciones con tasas de nacimientos y mortalidad dependientes de la edad de los organismos.

- Estimar la estructura poblacional (N para cada edad).

- Modelar el crecimiento poblacional en organismos con ciclos de vida complejos como plantas perennes, corales o insectos.

- Utilizar los modelos demográficos para realizar análisis de viabilidad poblacional (AVP, o PVA por sus siglas en inglés).

- Práctica Rramas → Modelar crecimientos poblacional exponencial en organismos de vida compleja.

Matriz de Leslie

El modelo **matricial de Leslie** se utiliza para analizar la dinámica poblacional de manera independiente para cada clase de edad.

Supongamos que

$$n(t) = (n_1(t), n_2(t), \cdots, n_k(t)) ,$$

donde $n_i(t)$ indica el número de individuos en la clase *i* para el tiempo t. Como existen K clases de edad en la pobalción, la estructura de edades en el tiempo t consiste en un vector de abundancias:

$$\begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ \dots \\ n_k(t) \end{bmatrix} = \mathbf{n}\,(t) \qquad \longrightarrow \qquad \begin{bmatrix} 600 \\ 270 \\ 100 \\ 50 \end{bmatrix} = \mathbf{n}\,(t) \quad \begin{array}{l} \text{seedlings} \\ \text{juvenile} \\ \text{vegetative} \\ \text{reproductive} \end{array}$$

Ejemplo de estructura poblacional de una planta perenne después de 5 años.

Matriz de Leslie

Teniendo en cuenta estos valores, podemos describir la evolución de una población divida en 4 clases de edades, de la siguiente manera:

$$n_1(t+1) = F_1 n_1(t) + F_2 n_2(t) + F_3 n_3(t) + F_4 n_4(t)$$
$$n_2(t+1) = P_1 n_1(t)$$
$$n_3(t+1) = P_2 n_2(t)$$
$$n_4(t+1) = P_3 n_3(t)$$

Matriz de Leslie

O bien podemos presentar el crecimiento estructurados en clases de edad en forma matricial (Matriz de Leslie):

$$\begin{array}{cc} & \text{from (t):} \\ \text{to (t+1):} & \begin{array}{cccc} 1 & 2 & 3 & 4 \end{array} \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} & A = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & F_4 \\ P_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_3 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

La matriz de Leslie tiene como primera fila los valores de la fertilidad (*Fi*). Representa la contribución de cada clase de edad a la reproducción.

La subdiagonal principal es siempre la probabilidad de supervivencia (*Pi*). Representa las transiciones de una clase de edad a la siguiente.

El resto de los elementos de la matriz son ceros. Esto implica que no hay otras transiciones posibles. Los individuos no pueden permanecer en la misma clase de uno a otro año y de igual manera los individuos no pueden saltar de una clase a otra.

Matriz de Leslie

Matriz de Leslie

La razón para usar el formato matricial es que podemos describir el crecimiento poblacional como una simple multiplicación de matrices.

$$\begin{bmatrix} n_1(t+1) \\ n_2(t+1) \\ n_3(t+1) \\ n_4(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & F_4 \\ P_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ n_3(t) \\ n_4(t) \end{bmatrix} \Rightarrow \quad x(t+1) = Lx(t)$$

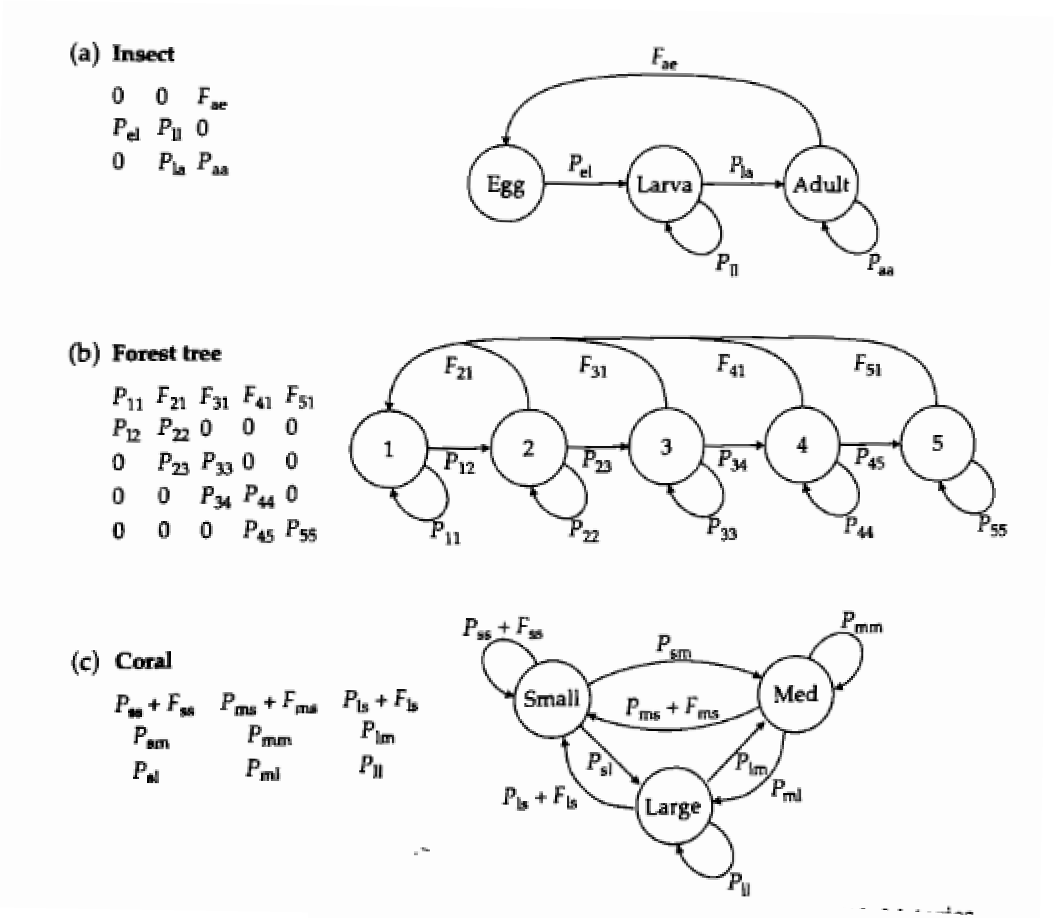
El vector que describe la población en la siguiente fase temporal [n(t+1)]es igual a la matriz de Leslie (A) multiplicada por el vector poblacional actual [n(t)]

$$\begin{pmatrix} a & b \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = a.x + b.y$$

$$\begin{pmatrix} a & b & c \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = a.x + b.y + c.z$$

$$\begin{pmatrix} a & b & c & d \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ t \end{pmatrix} = a.x + b.y + c.z + d.t$$

Poblaciones estructuradas en clases



$$
\begin{array}{c|ccc}
 & \text{egg} & \text{larva} & \text{adult} \\
\hline
\text{egg} & 0 & 0 & F_{ae} \\
\text{larva} & P_{el} & P_{ll} & 0 \\
\text{adult} & 0 & P_{la} & P_{aa}
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{c|ccccc}
 & \text{size 1} & \text{size 2} & \text{size 3} & \text{size 4} & \text{size 5} \\
\hline
\text{size 1} & P_{11} & F_{21} & F_{31} & F_{41} & F_{51} \\
\text{size 2} & P_{12} & P_{22} & 0 & 0 & 0 \\
\text{size 3} & 0 & P_{23} & P_{33} & 0 & 0 \\
\text{size 4} & 0 & 0 & P_{34} & P_{44} & 0 \\
\text{size 5} & 0 & 0 & 0 & P_{45} & P_{55}
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{c|ccc}
 & \text{small} & \text{medium} & \text{large} \\
\hline
\text{small} & P_{ss} + F_{ss} & P_{ms} + F_{ms} & P_{ls} + F_{ls} \\
\text{medium} & P_{sm} & P_{mm} & P_{lm} \\
\text{large} & P_{sl} & P_{ml} & P_{ll}
\end{array}
$$

Figure 3.4 Stage-transition matrices and loop diagrams for different life histories. (a) Simplified insect life history. (b) Long-lived forest tree life history. (c) Coral life history, with sexual and asexual reproduction.

Modificado de Gotelli 2001. A primer of Ecology

Erodium Paularense como caso de estudio.

Prof. Jose M. Iriondo
Universidad Rey Juan Carlos

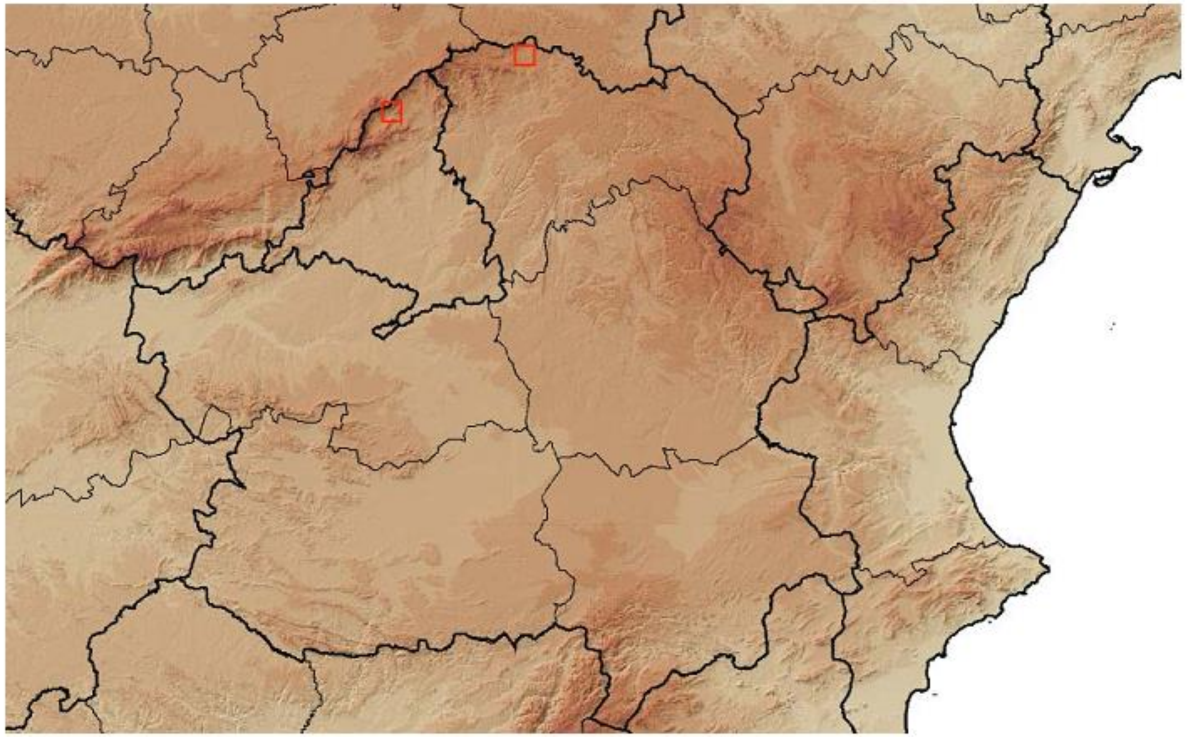
Erodium paularense
(Geraniaceae)

Taxón que habita en dos localidades separadas más de 200 kilómetros. Poblaciones con un bajo número de individuos y en ligero declive.

EN *B2ab(v)* AMENAZADA

Distribución

Endemismo del Sistema Central. En Madrid aparece en el Valle de Lozoya y en la provincia de Guadalajara se extiende entre la Sierra del Alto Rey y la Sierra del Bulejo.



Corología

UTM 1x1 visitadas:	18
UTM 1x1 confirmadas:	5
Poblaciones confirmadas:	5
Poblaciones nuevas:	0
Poblaciones extintas:	0
Poblaciones restituidas:	0
Poblaciones no confirmadas:	0
Poblaciones no visitadas:	0
Poblaciones descartadas:	0

POBLACIONES ESTUDIADAS

Se ha seleccionado una población de Madrid (Pinilla del Valle I) y otra población de Guadalajara (Cañamares I) cubriendo el abanico de tamaños poblacionales. La población de Madrid es la más pequeña del Valle de Lozoya (menos de 1500 individuos). Las poblaciones de Guadalajara cuentan con un número de efectivos mucho mayor, y de ellas se ha elegido la población de mayor tamaño (cerca de 155.000 individuos). En ambas localidades se ha realizado el seguimiento de plantas sobre litosuelo, marcándose inicialmente 283 individuos en Madrid y 293 individuos en Guadalajara.

Población	**Individuos (año 2006)**
Pinilla del Valle I (M)*	1.483
Pinilla del Valle II (M)	14.440
Cañamares I (Gu)*	154.408
Cañamares II (Gu)	39.492
Cañamares III (Gu)	828
Santed (Z)	700
Borobia (So)	-

* Poblaciones estudiadas

Estructura de clases

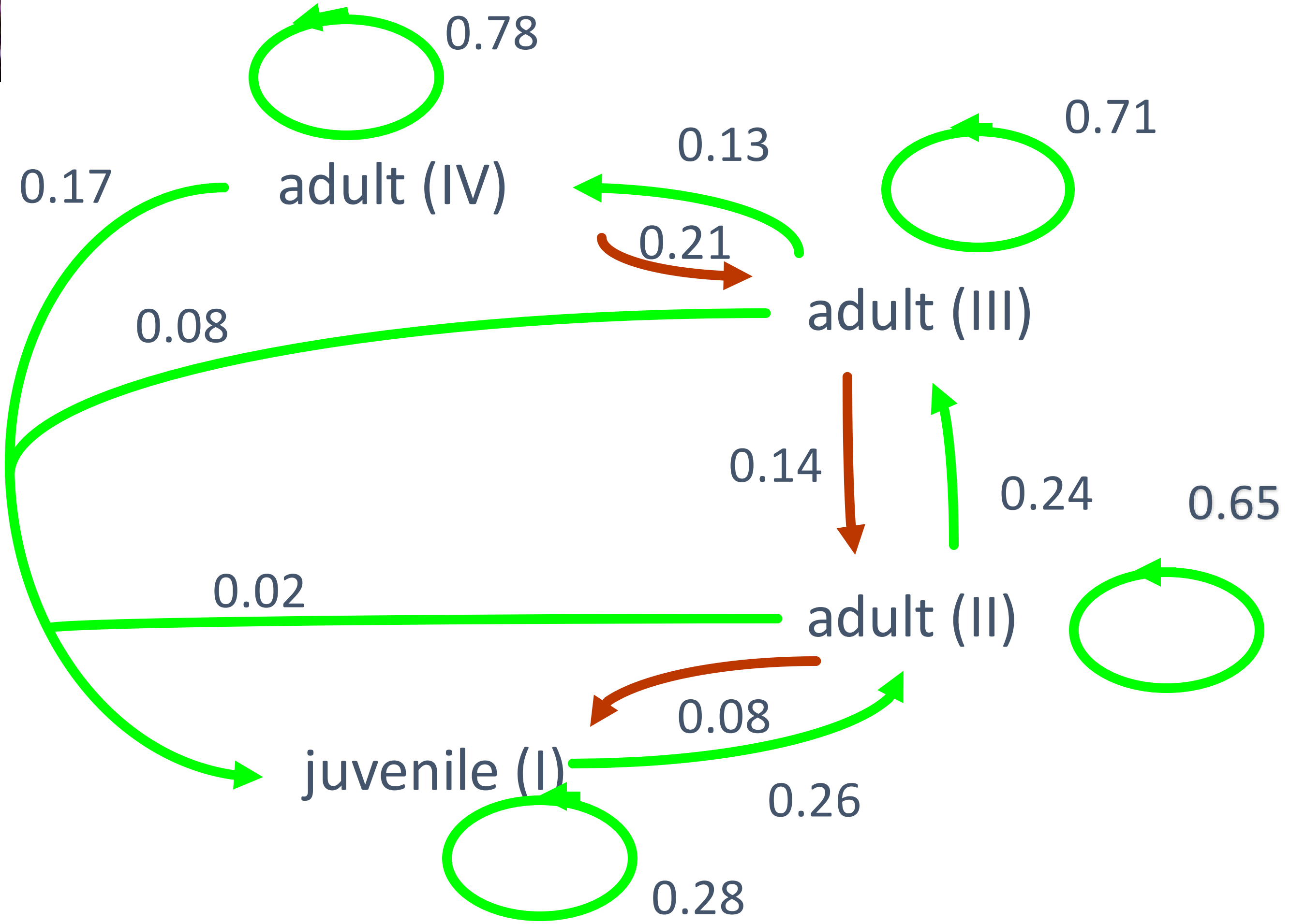
El tamaño de las plantas se ha estimado a partir del diámetro máximo de la roseta. Se ha contabilizado la producción total de frutos por planta al final del periodo reproductivo, y esta información se ha utilizado para estimar las tasas de fertilidad. Estudios de campo han confirmado que no existe un banco de semillas del suelo permanente y las plantas no presentan reproducción clonal. Se han obtenido cuatro clases de tamaño, una clase vegetativa (plántulas) y tres clases reproductivas.

Las poblaciones quedan estructuradas de la siguiente manera:

Clase 1: Plántulas (individuos vegetativos)
Clase 2: Adultas pequeñas (< 11 cm)
Clase 3: Adultas medianas (11-18 cm)
Clase 4: Adultas grandes (> 18 cm)

Life cycle of *E. paularense*

- seed prod.
- dispersal
- depredation
- germination

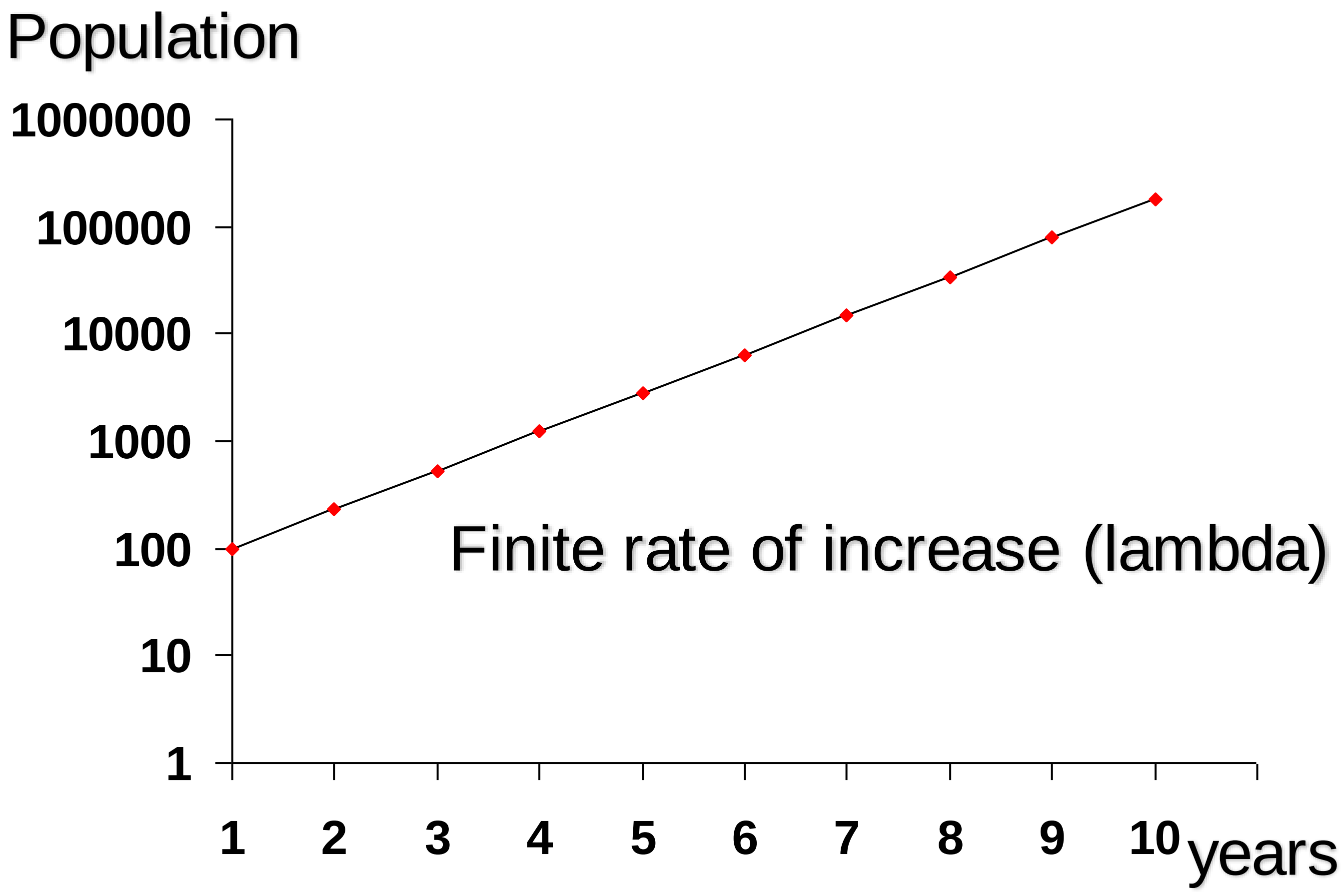


Life cycle of *E. paularense*

Transition matrix:

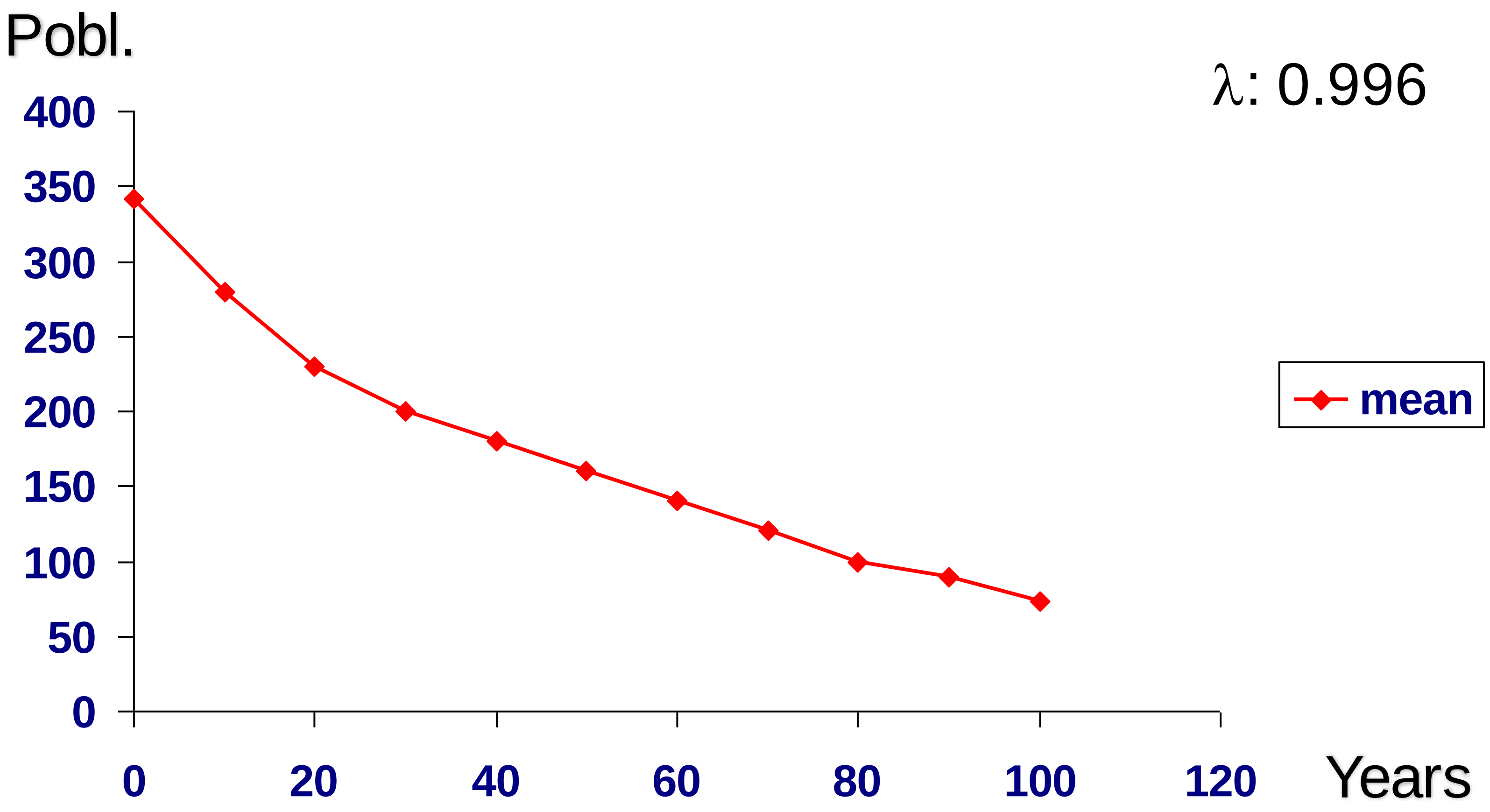
		de:			
		I	II	III	IV
a:	I	0.28	0.10	0.08	0.17
	II	0.26	0.65	0.14	0.00
	III	0.00	0.24	0.71	0.21
	IV	0.00	0.00	0.13	0.78

Modelo determinista.



Variaciones del modelo. Estocasticidad

Erodium paularense



Variaciones del modelo. Estocasticidad

Stochastic model

$$\begin{bmatrix} 0.00 \pm e_{11} & 0.00 \pm e_{12} & 0.00 \pm e_{13} & 58.0 \pm e_{14} \\ 0.42 \pm e_{21} & 0.45 \pm e_{22} & 0.10 \pm e_{23} & 0.07 \pm e_{24} \\ 0.01 \pm e_{31} & 0.23 \pm e_{32} & 0.26 \pm e_{33} & 0.22 \pm e_{34} \\ 0.00 \pm e_{41} & 0.12 \pm e_{42} & 0.58 \pm e_{43} & 0.66 \pm e_{44} \end{bmatrix}$$

- demographic stochasticity
- environmental stochasticity

Variaciones del modelo. Estocasticidad

Erodium paularense

MATRICES DE TRANSICIÓN

Pinilla

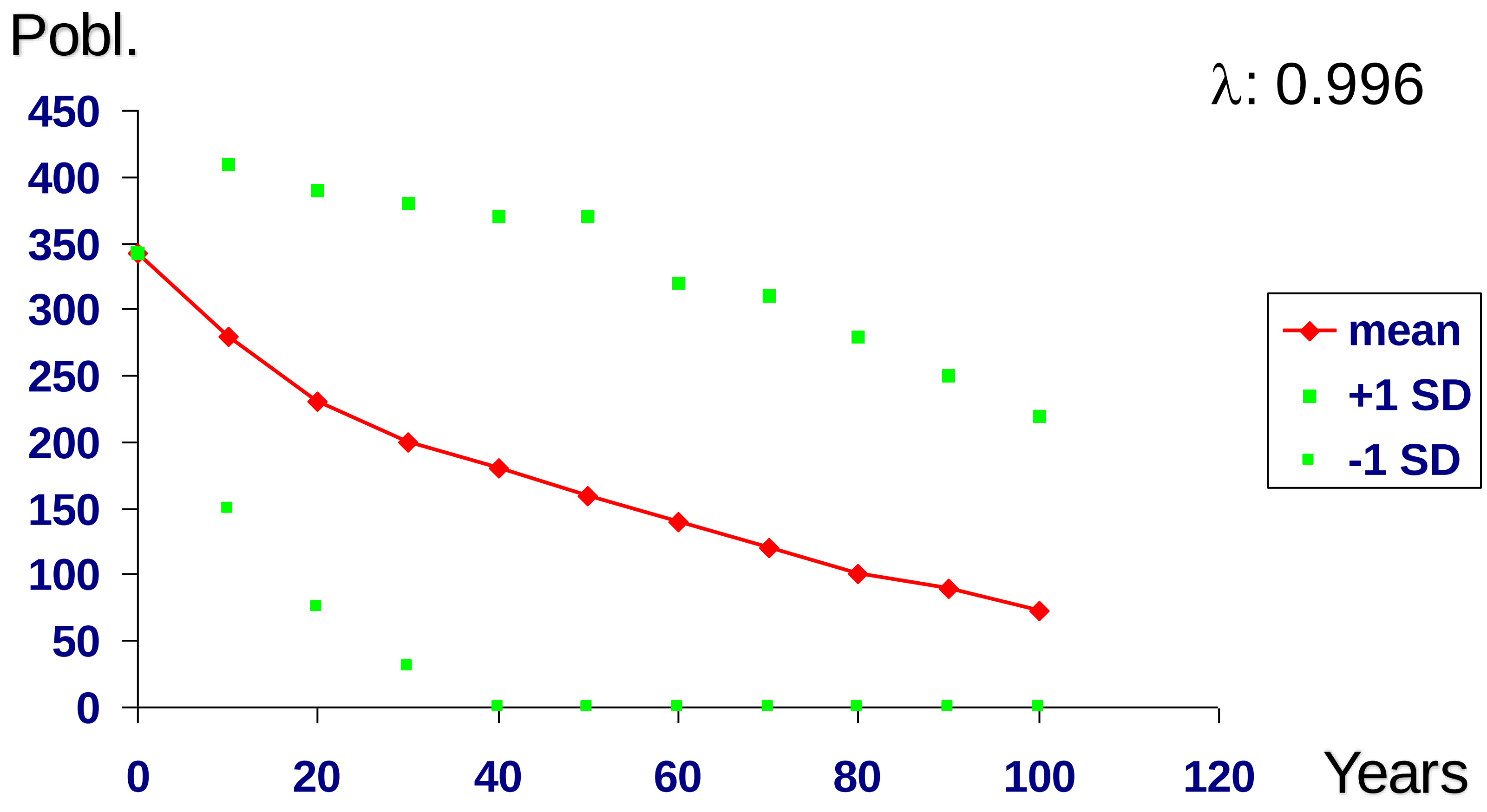
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
2001-02	Clase 1	0,000	0,003	0,019	0,104
	Clase 2	0,641	0,589	0,079	0,011
	Clase 3	0,000	0,179	0,748	0,215
	Clase 4	0,000	0,000	0,126	0,763
2002-03	Clase 1	0,000	0,003	0,022	0,084
	Clase 2	0,424	0,542	0,104	0,000
	Clase 3	0,170	0,188	0,768	0,207
	Clase 4	0,000	0,000	0,096	0,782
2003-04	Clase 1	0,000	0,010	0,079	0,316
	Clase 2	0,727	0,591	0,080	0,000
	Clase 3	0,000	0,250	0,568	0,088
	Clase 4	0,000	0,023	0,288	0,888
2004-05	Clase 1	0,000	0,005	0,051	0,199
	Clase 2	0,176	0,750	0,146	0,000
	Clase 3	0,059	0,182	0,764	0,259
	Clase 4	0,000	0,000	0,079	0,731
2005-06	Clase 1	0,000	0,001	0,005	0,017
	Clase 2	0,310	0,750	0,189	0,000
	Clase 3	0,000	0,077	0,726	0,198
	Clase 4	0,000	0,019	0,047	0,791

Con información demográfica de varios años podemos estimar las tasas medias y su variabilidad (varianza y desviación estándar). Esta información nos permitirá incorporar estocasticidad en los modelos.

En este ejemplo se pueden observar 5 matrices de transición para una población de *Erodium Paularense* situada en el municipio de Pinilla (Madrid, España).

Variaciones del modelo. Estocasticidad

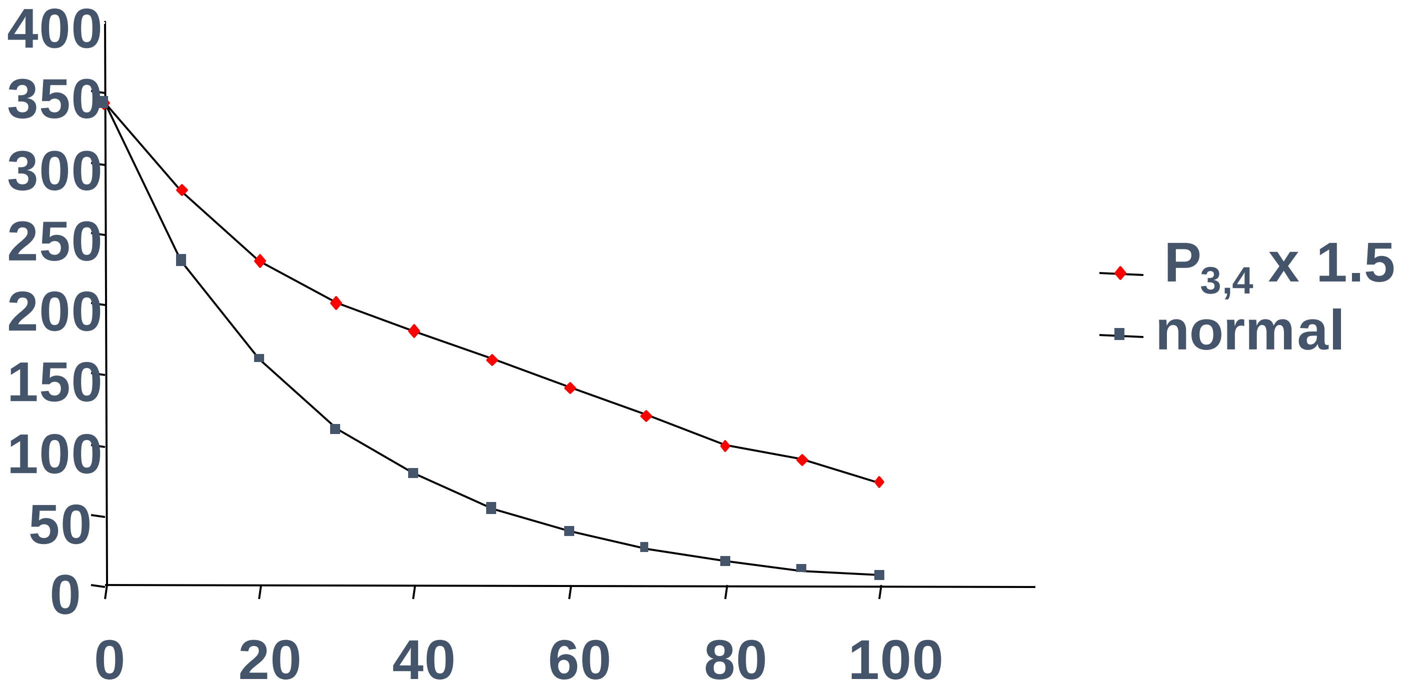
Erodium paularense



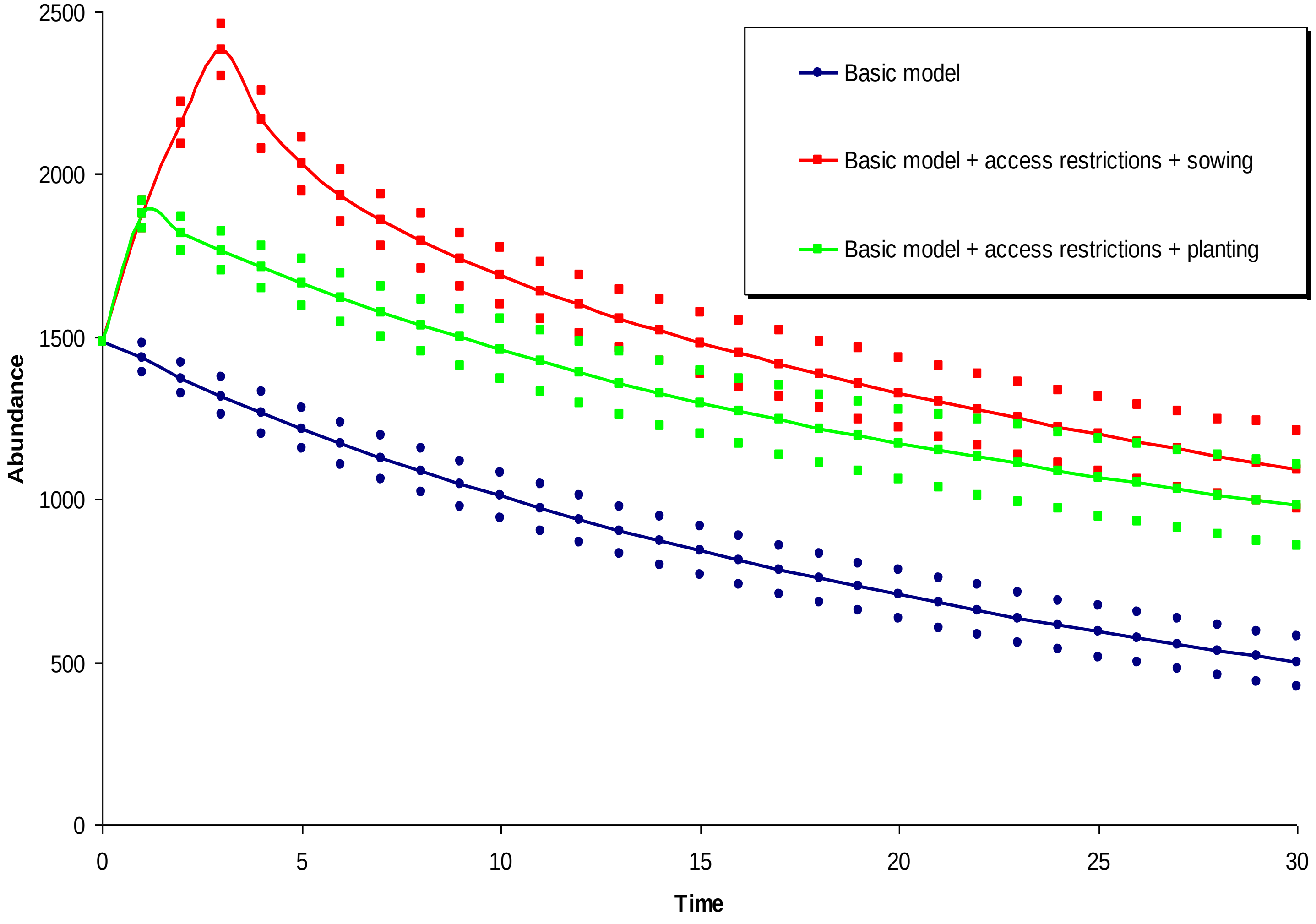
Análisis de sensibilidad

A través del análisis de sensibilidad se comprueba cómo la tasa de crecimiento “λ“ de la población responde a cambios en cada uno de los parámetros del modelo.

$$S = \Delta\lambda / \Delta p$$



Análisis de sensibilidad



Análisis de elasticidad

Análisis de elasticidad o sensibilidad proporcional cuantifica el cambio proporcional que se produce en λ cuando variamos una de las tasas de la matriz y el resto de las tasas permanecen constantes.

$$E = (\Delta\lambda/\lambda) / (\Delta p/p)$$

La elasticidad mide la **contribución relativa del cada elemento de la matriz** a la constitución de la tasa de **crecimiento poblacional**.

La suma de todos los elementos de la matriz de elasticidades es igual a 1, cada elasticidad puede ser expresada como un porcentaje de la elasticidad total del ciclo de vida.

Esta propiedad permite la comparación entre poblaciones sujetas a diferentes condiciones. Las elasticidades también pueden ser sumadas para evaluar la importancia relativa de un grupo de componentes del ciclo de vida.

Análisis de elasticidad

A partir de la matriz de elasticidades se deduce que el parámetro más importante para el crecimiento de la población es la supervivencia de los individuos reproductores, especialmente los más grandes, es decir los de las clases 3 y 4.

Elasticity matrix

		from:			
		I	II	III	IV
	I	0.012	0.008	0.009	0.012
to:	II	0.030	0.144	0.047	0.000
	III	0.000	0.069	0.306	0.054
	IV	0.000	0.000	0.067	0.241

Careful when interpreting elasticity!

note: large perturbations in transitions with low elasticity can have as great or greater impact on λ than small perturbations in transitions with high elasticity

Análisis de elasticidad

Precautions:

- Elasticity varies between populations and years. It is dangerous to base analyses on elasticities generated from a mean matrix.

- Changes in vital rates are not isolated. Environmental change usually implies change in several rates.

- Rates with low elasticity usually have high variability, while rates with high elasticity usually have low variability.

Práctica Rramas

Dipsacus sylvestris

Imagen: http://www.badplants.com